

# การสร้างตัวควบคุม PIDA สำหรับควบคุม ความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกตัวกระตุ้น

วิทยา ทิพย์สุวรรณพร<sup>1</sup> เกียรติอนันต์ สุขชู<sup>2</sup> กฤษชัย วิถีพานิช<sup>2</sup>

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เวคิน ปียรรัตน์<sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

## บทคัดย่อ

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำเอาตัวควบคุม PID มาใช้ควบคุมระบบการอันดับสอง แต่เมื่อมีอันดับสูงขึ้นจะทำให้ระบบควบคุมมีความเสถียรภาพนั้นทำได้ยากเช่นใน [3,4] ดังนั้นจึงเสนอการควบคุมแนวใหม่มาแทนตัวควบคุมแบบเดิม โดยเป็นตัวควบคุม PIDA (proportional, integral, derivative และ acceleration) สำหรับระบบอันดับสูงๆ ที่มีคุณสมบัติให้ผลตอบสนองชั่วคราวและสภาวะอยู่ตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ระบบยังงเสถียรภาพอยู่ ในการออกแบบตัวควบคุม PIDA ที่นำเสนอนี้จะใช้ตัวประมวลผลแบบสัญญาณดิจิทัล TMS320C50 ทำการคำนวณตามวิธีการของ PIDA ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลตอบสนองอินพุตตามเวลาจริง นอกจากนั้นยังได้แสดงการคำนวณหาค่าของตัวควบคุม PIDA อย่างละเอียดเพื่อนำไปสร้างตัวควบคุมอย่างง่าย สำหรับควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกตัวกระตุ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองของการสร้างตัวควบคุม PIDA ทำให้ได้ค่าตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการคือมี  $P.O. \leq 5\%$ ,  $T_r \leq 2$  วินาที นอกจากนั้นยังให้ผลตอบสนองของการควบคุมที่เร็วและมีความเที่ยงตรงสูง โดยที่ระบบยังคงมีความเสถียรภาพอยู่ ทั้งในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด

<sup>1</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

<sup>2</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

<sup>3</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

# Implementation of PIDA Controller for Speed Control Separately Excited DC Motor

Vittaya tipsuwanpron<sup>1</sup> Keitanun Sukchu<sup>2</sup> Kritchai Witheephanich<sup>2</sup>

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Wakhin Piyarat<sup>3</sup>

Srinakarinwirot University

---

## Abstract

The PID controllers are widely used to control the second order process. The higher order processes are difficult to have the stability as shown in the previous papers [3,4]. This paper proposes the PIDA controller for the higher order processes. It responds immediately for the transient and steady state response as the system remains stable. The proposed PIDA design uses TMS320C50 as signal processor for the calculations of PIDA procedure. It is able to analyze the effects of real time input. This paper also presents the calculations of PIDA variable to make simple controller. To control the excited separately DC motor. The experimental results of PIDA-controller implementation require the same desired objectives such as; P.O.  $\leq 5\%$ ,  $T_s \leq 2$  sec. It also has the quick controlling response with high accuracy while the system is stable as no load or with load.

---

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Industrial Instrumentation Technology, Faculty of Engineering.

<sup>2</sup> Graduate Student, Department of Industrial Instrumentation Technology, Faculty of Engineering.

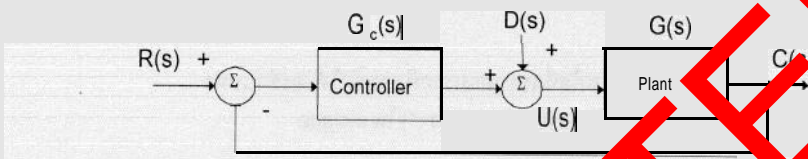
<sup>3</sup> Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.

## 1. บทนำ

ตัวควบคุม PID[2-3] ถูกใช้อย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับกระบวนการที่เป็นอันดับสอง แต่เมื่อกระบวนการมีอันดับสูงขึ้นจะควบคุมได้ยาก เนื่องจากอันดับของกระบวนการมีจำนวนโพลมากกว่าจำนวนซีโรของตัวควบคุม ทำให้ทางเดินของรากเคลื่อนเข้าใกล้จุดกำเนิด จึงมีการคิดค้นการออกแบบตัวควบคุมแบบ PIDA [1] ขึ้นเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการที่มีอันดับสูงๆ โดยที่ระบบยังมีเสถียรภาพและความแม่นยำสูง

## 2. ทฤษฎีและหลักการ

พิจารณาโครงสร้างที่แสดงการควบคุมในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบควบคุมในวงปิด

สมมุติมีสัญญาณป้อนกลับเป็นหนึ่งหน่วย (unity feedback) ตัวชดเชย PIDA ถูกกำหนดให้เป็นดังนี้

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + \frac{D}{(s+a)} + \frac{bs^2}{(s+d)(s+e)}$$

$$= K_p \frac{(s+a)(s+d)(s+z)}{s(s+d)(s+e)} \quad a, b, z \ll d, e \quad (1)$$

เมื่อ  $a, b, z$  และ  $d, e$  เป็นซีโร และโพลของตัวควบคุม PIDA ตามลำดับ โดยเหตุที่ว่า  $a, b, z \ll d, e$ . พิจารณาที่  $d, e$  มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด จากรูปที่ 1 ฟังก์ชันถ่ายโอน  $T(s)$  ในวงรอบปิดจะเป็น

$$T(s) = \frac{G(s)G_c(s)}{1+G(s)G_c(s)} \quad (2)$$

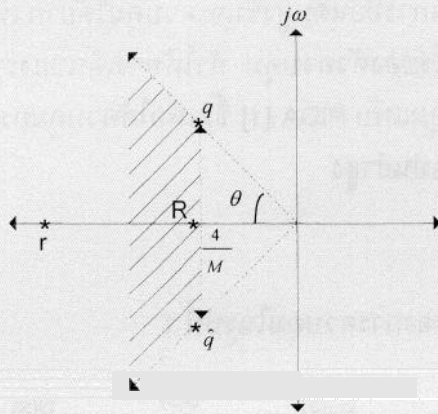
เมื่อ  $1+G(s)G_c(s) = 0$  เป็นสมการคุณลักษณะของระบบควบคุม สมรรถนะของระบบควบคุมสามารถพิจารณาได้จากผลตอบสนองสถานะชั่วคราวตามข้อกำหนดต่อไปนี้

$$P.O \leq L \quad (3)$$

$$T_s \leq M \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{ค่าสูงสุด} \\ \text{ผลตอบสนองเอ้าท์พุท} \\ \text{สัญญาณรบกวน} \end{array} \right| = \max \frac{|C(t)|}{|D(t)|} < W \quad (5)$$

เมื่อค่าของ L, M และ W จะถูกเลือกโดยผู้ออกแบบตัวควบคุม โดยค่า L และ M เป็นการกำหนดตำแหน่งรากที่ไกลจุดกำเนิดที่สุดใน s-plane ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขอบเขตโลโก้ที่ครอบคลุมรากที่ยอมรับได้และตำแหน่งค่ารากในวงปิดที่ตำแหน่ง (\*) ใน s-plane

เมื่อ  $\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\left( \ln \frac{L}{100} \right)^2}{\pi^2 + \left( \ln \frac{L}{100} \right)^2} \right)$

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของบทความนี้จึงเป็นแนวทางในการวิเคราะห์วิธีใหม่ของการออกแบบตัวควบคุม PIDA สำหรับการออกแบบอื่น ๆ ซึ่งให้คุณสมบัติเฉพาะได้ตามต้องการ

### 3. วิธีการออกแบบและวิเคราะห์ตัวควบคุม PIDA

แนวความคิดในการออกแบบตัวควบคุม PIDA คือการเพิ่มซีโรให้ตัวควบคุม PID ดังนั้นเมื่อนำตัวควบคุมต่อแอสเคดกับกระบวนการอันดับสาม จะทำให้อันดับของระบบลูปปิดเพิ่มขึ้นเป็นอันดับสี่ จึงใช้แนวความคิดในการวางรากของลูปปิดทั้งสี่ในระนาบ s-plane ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อให้ได้สมรรถนะตามข้อกำหนด โดยวางรากโพลตัวแรกไว้ในตำแหน่งรากครอบคลุมหรือในแนวเส้นตรงเดียวกับ  $-\zeta\omega_n$  ส่วนรากตัวที่สองจะวางไว้ในตำแหน่งซ้ายมือของโพลที่มากที่สุดของกระบวนการที่ไม่ได้อยู่ที่จุดกำเนิด และรากตัวที่สามจะวางให้ไกลออกไปจากจุดกำเนิด ที่มีผลในการลดผลของโพลที่ผลกระทบบ้างกับระบบทั้งหมด โดยตำแหน่งใหม่ของโพลดังกล่าวจะเข้ามามีผลกระทบบ้างกับระบบแทน ซึ่งสามารถปรับแต่งตำแหน่งจากการออกแบบตัวควบคุม PIDA นอกจากนั้นผลกระทบดังกล่าวจะปรากฏมากขึ้นกับกระบวนการชนิดที่หนึ่ง และมากที่สุดกับกระบวนการชนิดที่สอง เนื่องมาจากโพลที่จุดกำเนิด

#### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุม PIDA

**ขั้นตอนที่ 1** กำหนด  $\zeta\omega_n$  ของตำแหน่งรากที่ครอบคลุมจากเวลาเข้าที่ ( $T_s$ ) ตามสมการ

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n}$$

โดยที่ตำแหน่งรากครอบคลุม  $s=q$  และ  $\hat{q}$  เมื่อ

$$q = -\zeta\omega_n + j\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$$

**ขั้นตอนที่ 2** กำหนดค่า  $\xi$  ที่ตำแหน่งของเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูท (P.O) นั่นคือ

$$\xi = \frac{\left( \ln \frac{L}{100} \right)^2}{\sqrt{\pi^2 + \left( \ln \frac{L}{100} \right)^2}}$$

**ขั้นตอนที่ 3** เลือกค่ารากในแกนจริงให้เท่ากับค่าจริงของรากที่ต้องการให้ครอบคลุม โดยกำหนดดังนี้คือ  $R = \text{Re}\{\text{dominant roots}\} \leq -\xi\omega_n$  และเพื่อที่จะลดผลที่เกิดจากรากในวงปิดที่ไม่ครอบคลุมดังนั้นจึงกำหนดเลือกค่า  $R$  โดยอยู่ทางด้านซ้ายของโพลที่มากที่สุดในวงเปิดของกระบวนการ ซึ่งไม่อยู่ที่กำเนิดในครึ่งระนาบด้านซ้ายของ s-plane

**ขั้นตอนที่ 4** เลือกตำแหน่งรากที่มากที่สุดบนแกนจริงที่มีค่า  $r$  โดยกำหนดให้  $r \ll -\xi\omega_n$

**ขั้นตอนที่ 5** เขียนสมการคุณลักษณะ  $1+G(s)G_c(s)=0$  และกำหนดให้  $(s+r)(s+R)(s+q)(s+q) = 0$

**ขั้นตอนที่ 6** คำนวณหาสมการคุณลักษณะจากขั้นตอนที่ 5

**ขั้นตอนที่ 7** แกสมการจากขั้นตอนที่ 6 เพื่อหาค่าโพลที่มีเดือร์  $a, b, z$  และ  $K$  แล้วทำให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ (1)

**ขั้นตอนที่ 8** พล็อตกราฟแสดงผลตอบสอง ดังนี้

ก. สำหรับที่  $c(t)$  ให้  $r(t) = \text{unity step}$

ข. สำหรับที่  $c(t)$  ให้  $r(t) = 0$  และ  $d(t) = \text{unity step}$

ถ้าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูท (P.O) ไม่เป็นที่พอใจก็ให้เพิ่มค่าเกน  $K$  ที่ต่อ cascade ในสมการที่ (1)

#### 4. การออกแบบตัวควบคุมแบบดิจิตอล

ระบบควบคุมดิจิตอลใช้ DSP เป็นตัวประมวลสัญญาณเชิงเลข ที่มีความเร็วในการทำงาน 10 ล้านคำสั่งต่อวินาที เป็นชิพของ Texas Instrument เบอร์ TMS320C50 ต่ออินเตอร์เฟซกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอมพิวเตอร์ และใช้วงจรแปลง A/D และ D/A ที่มีความละเอียดในการแปลงข้อมูลขนาด 14 บิต ซึ่งต่อรวมอยู่ในบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลขของชิพ DSP ซึ่งสามารถศึกษาได้จากคู่มือของชิพ DSP TMS320C50 [7] และในการเขียนโปรแกรมนั้นจะต้องแปลง s-domain ให้อยู่ในรูป z-domain ตาม algorithm ของตัวควบคุม PIDA ส่วนเอาร์ทพุทที่ได้นั้นเป็นการกระทำด้วยการแปลงจาก z-domain เป็น s-domain เพื่อจะต่อเชื่อมในการควบคุมกระบวนการที่เป็น s-domain ดังนั้นแนวทางของการพิจารณาในการออกแบบตัวควบคุม PIDA จึงพิจารณาดูที่ s-domain ทั้งระบบ

### 4.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบ

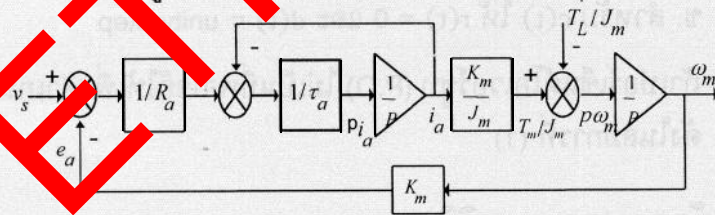
ในการทดลองการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบแยกตัวกระตุ้นนั้น มีหลักการสำคัญๆ อยู่ว่า ถ้าทำการป้อนสัญญาณเข้าไปขับให้มอเตอร์หมุนแล้ววัดตำแหน่งของการหมุนด้วย Encoder แล้วนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับ set point เดิม จากนั้นทำการควบคุมสัญญาณส่งไปเพิ่มหรือลดความเร็วของมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์มีความเร็วตามต้องการ ซึ่งการรับค่าจาก Encoder นั้น ตัว Encoder จะส่งสัญญาณตรวจจับการหมุนของมอเตอร์ออกมาในรูปของพัลส์ความถี่ในหน่วยของพัลส์ต่อรอบ จากนั้นเอาสัญญาณส่วนนี้ไปเข้าวงจรนับ 16 บิต ที่ทำการออกแบบไว้ เพื่อแปลงค่าพัลส์ให้เป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 16 บิต แล้วจึงนำค่าขนาด 16 บิต ไปประมวลผลโดย DSP ต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การส่งข้อมูลเข้าไปประมวลผลนั้นจะต้องมีการอ้างตำแหน่ง Address ให้กับหน่วยประมวลผลเชิงสัญญาณ เพื่อที่หน่วยประมวลผลกลางจะได้อ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการจะแม่นยำ แล้วส่งค่าออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อก

### 5. การประยุกต์ใช้งานกับการจำลองแบบทางพลศาสตร์ของมอเตอร์

การนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมนั้นนิยมใช้มอเตอร์แบบแยกตัวกระตุ้นชนิดควบคุมตัวหมุน ซึ่งจะต้องให้กระแส field ของมอเตอร์มีค่าคงที่เพื่อให้งานเป็นเชิงเส้น และยังพิจารณาถึงวิธีการออกแบบการควบคุมความเร็วและแรงบิดให้มีความเที่ยงตรงสูง เมื่อทำการออกแบบตัวควบคุม PIDA จะทำให้ง่ายต่อการควบคุมความเร็ว ซึ่งแสดงไดอะแกรมของระบบมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกตัวกระตุ้นแสดงได้ดังรูปที่ 3

หมายเหตุ ในกรณีนี้ถือว่า  $T_m$  เป็นค่าที่สองของมอเตอร์

รูปที่ 3 ระบบมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกตัวกระตุ้น



- $\tau_m$  = ค่า mechanical time constant ของมอเตอร์
- $\tau_a$  =  $L_a / R_a$  = ค่า time constant ของกระแสเมเจอร์
- $B_m$  = สัมประสิทธิ์ของ viscous friction
- $J_m$  = ความเฉื่อยของโรเตอร์ของมอเตอร์
- $\theta_m$  = ระยะแทนที่เชิงมุมของโรเตอร์

จากรูปที่ 3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบจะเป็นดังนี้ คือ

$$\frac{\theta_m}{v_s / K_m} = \frac{1}{\tau_m (\tau_a s + 1)(s + B_m / J_m) + 1} \times \frac{1}{s} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) สามารถเขียนสมการคุณลักษณะได้เป็น

$$s \left( s^2 + \left( \frac{1}{\tau_a} + \frac{B_m}{J_m} \right) s + \frac{1}{\tau_a} \left( \frac{1}{\tau_m} + \frac{B_m}{J_m} \right) \right) = 0 \quad (7)$$

เมื่อแทนค่าที่เหมาะสมและใช้การแปลงลาปลาซ จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบที่แรงกระตุ้นที่ของมอเตอร์กับแรงเคลื่อนอินพุตจะได้เป็น

$$G(s) = \frac{\theta_m}{v_s / K_m} = \frac{1 \left( \frac{1}{\tau_a} + \frac{B_m}{J_m} \right)}{s \left( s^2 + \left( \frac{1}{\tau_a} + \frac{B_m}{J_m} \right) s + \frac{1}{\tau_a} \left( \frac{1}{\tau_m} + \frac{B_m}{J_m} \right) \right)} \quad (8)$$

มอเตอร์กระแสตรงแบบ armature-controlled จะมี loop ป้อนกลับในตัวมันเองซึ่งเกิดจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับนี้จะมีส่วนกับค่าลบของความเร็วมอเตอร์ ดังนั้นผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจึงมีความหมายเป็นค่าความเสียดทานทางไฟฟ้า ซึ่งจะปรับปรุงเสถียรภาพของมอเตอร์ให้ดีขึ้น

## 6. ผลการเลียนแบบและการทดลอง

ปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงถูกพัฒนาขึ้นมากเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม และได้มีการผลิตมอเตอร์กระแสตรงที่มีแม่เหล็กถาวรซึ่งมีความเข้มสูงและตัวหมุนมีความเฉื่อยต่ำมาก ดังนั้นมอเตอร์แบบนี้จึงนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมตลอดจนเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้ 0.75kW, 1750r/min, 240V,  $R_a = 0.0144\Omega$ ,  $L_{aq} = 0.0011H$ ,  $K_m = 1.27 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ,  $J_m = 1.82 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  และจากสมการที่ (8) เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการโดยที่ค่าคงที่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ  $K_m$  จะมีความสัมพันธ์กันด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง ดังนั้นสามารถแสดง undamped natural frequency ของ  $\omega_n$  ได้จาก

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{\tau_a} \left( \frac{1}{\tau_m} + \frac{B_m}{J_m} \right)} \quad (9)$$

และ damping factor  $\alpha$  จะได้เป็นดังนี้

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\tau_a} + \frac{B_m}{J_m} \right) \quad (10)$$

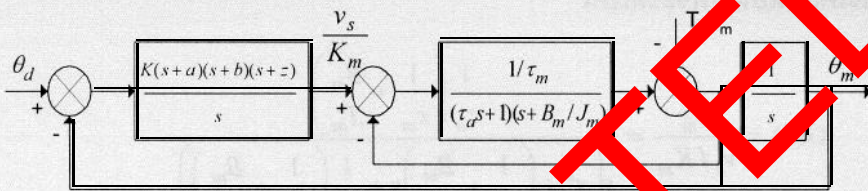
และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ damping factor กับ damping ratio ( $\xi$ ) จะเป็นดังนี้คือ

$$\xi = \frac{\alpha}{\omega_n} \tag{11}$$

ค่ารากในครึ่งระนาบด้านซ้ายมือหาได้จากสมการ (12) คือ

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} = -\xi\omega_n \pm \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \tag{12}$$

และจากสมการ (12) เมื่อกำหนดให้  $\xi > 1$  และ  $\xi < 1$  ตามลำดับ สามารถแสดงแบบจำลองของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกตัวกระตุ้นได้ ดังรูปที่ 4



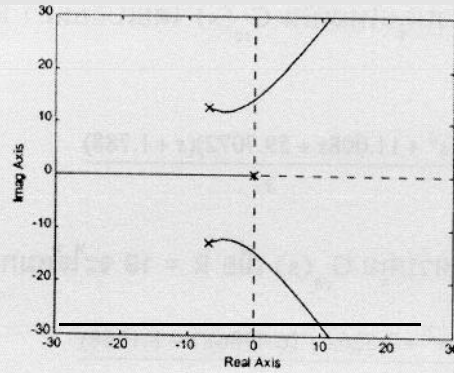
รูปที่ 4 ระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยตัวควบคุม PIDA

ดังนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการคำนวณดังนี้  $\omega_n = 150 \text{ rad/s}$ , Rated torque  $T_m = 409 \text{ N.m}$ ,  $J_m = 3.64 \text{ kg.m}^2$ ,  $B_m/J_m = 0.1$ ,  $\tau_a = 0.0765 \text{ s}$ ,  $1/\tau_a = 13.1$ ,  $\tau_m = 0.065 \text{ s}$ ,  $1/\tau_m = 15.4$   $\omega_n(t) = 14.2$ ,  $\xi = 0.46$  นำค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้นั้นแทนค่าลงในสมการ  $G(s)$  ดังสมการ (8) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนในวงปิดดังนี้

$$G(s) = \frac{209.731}{s[s^2 + 15.731s + 209.731]} \tag{13}$$

พิจารณารูปที่ 5 แสดงการหาค่าตัวควบคุม PIDA ตามขั้นตอนที่ 1, 2, 3 และ 4 จากการทดลองนั้น มีจุดประสงค์ที่วางกฏให้ P.O.  $\leq 5\%$ ,  $T_s \leq 2$  วินาที และผลตอบสนองเอาท์พุท ต่อสัญญาณรบกวน หรือ  $\frac{|e(t)|}{|D(t)|} \leq 0.05$  กำหนดให้  $\xi\omega_n \leq -2$  และ  $\xi \geq 0.707$  โดยตำแหน่งที่ครอบของรากห่างจากจุดกำเนิดตราบใดจะต้องเลือกค่าให้ครอบคลุมตำแหน่งรากที่  $-2.1 \pm 2j$  และจากสมการ (13) เมื่อพล็อตกราฟรูตโกล์สตรงรูปที่ 6 จะเห็นว่าระบบไม่เสถียร และสามารถทำให้กลับมาเสถียรได้โดยสร้างสมการคุณลักษณะของมอเตอร์ใหม่ด้วยวิธีการของ PIDA โดยที่ค่าโพลของมอเตอร์อยู่ที่  $0, -6.855 \pm 12.7569j$  ซึ่งเป็นค่าเชิงซ้อนทั้งคู่ ดังนั้นเมื่อเลือกค่า R จะต้องให้มากกว่า  $-6.855$  และเลือกค่า R ของสมการ (13) ใหม่เป็น  $R=7$  ส่วนตำแหน่งที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของรูตโกล์สที่เป็นโพลมากที่สุดคือ  $r=-30$  ซึ่งจะได้สมการคุณลักษณะใหม่ทำให้กลับมาเสถียรภาพจะได้สมการคุณลักษณะดังสมการที่ (14)



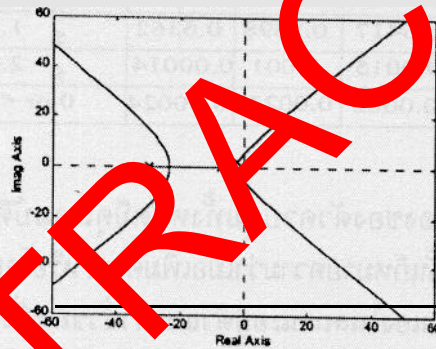


รูปที่ 5 โลกัสจากค่าพารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ของระบบมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 5 เขียนสมการคุณลักษณะที่ได้หามาแล้วไว้ดังต่อไปนี้

$$1+G(s)G_c(s)=(s+7)(s+30)(s+2.1\pm 2j) \quad (14)$$

จากการพล็อตกราฟรูตโกล์ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าทำให้ระบบมีพื้นที่ควบคุมมากขึ้น และระบบยังคงเสถียร



รูปที่ 6 โลกัสที่ได้จากการแก้สมการคุณลักษณะตามวิธีการของ PIDA

ขั้นตอนที่ 6 จะได้สมการคุณลักษณะของสมการ (14) ใหม่เป็นดังนี้

$$s^4 + (13.7+K)s^3 + (209.73+K(a+b+z))s^2 + (K(a+b)z+Kab)s + Kabz = 0$$

$$= s^4 + 41.2s^3 + 373.81s^2 + 1193.17s + 1766.1 \quad (15)$$

ขั้นตอนที่ 7 จะได้สมการทั้งสี่จากการเทียบสมการดังนี้  $13.7+K=41.2$ ,  $K(a+b+z)+209.73=373.81$ ,  $K(a+b)z+Kab=1193.17$ ,  $Kabz=1766.1$  แก้สมการทั้งสี่สมการเพื่อหาค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม  $a$ ,  $b$ ,  $z$  และ  $K$  ของสมการ (15) จะได้ค่า  $a$ ,  $b=2.0902\pm 5.61785j$ ,  $z=1.788$ ,  $K=27.49$  และสมการของตัวควบคุม  $G_{cl}(s)$  เป็นดังนี้

$$G_{cl}(s) = 27.49 \frac{(s^2 + 4.1804s + 9.4013)(s + 1.788)}{s} \quad (16)$$

พิจารณาการหาค่าตัวควบคุมใหม่เป็น  $G_{c2}(s)$  โดยเปลี่ยนค่า  $R=13$  ทำตามขั้นตอนดังกล่าว  
จะได้

$$G_{c2}(s) = 33.41 \frac{(s^2 + 11.008s + 59.7072)(s + 1.788)}{s} \tag{17}$$

ในทำนองเดียวกันที่ตัวควบคุม  $G_{c3}(s)$  เมื่อ  $R = 19$  จะได้สมการของ  $G_{c3}(s)$  เป็น

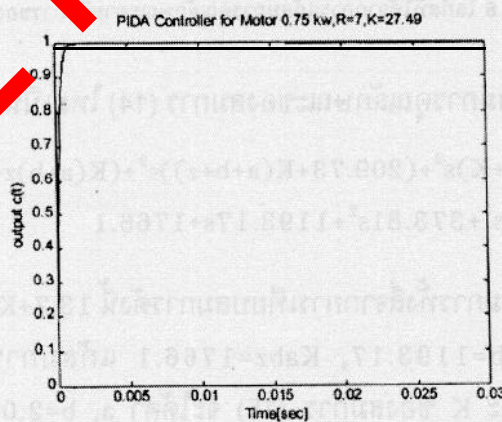
$$G_{c3}(s) = 35.49 \frac{(s^2 + 7.526s + 16.4986)(s + 8.1868)}{s} \tag{18}$$

นำสมการที่ (16)-(18) ทำให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนในวงปิดของ  $T(s)$  ดังสมการ  
ที่ (2) นำไปทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่า  $R$  เพื่อดูผลตอบสนองของตัวควบคุมที่สาม ดังในตารางที่ 2

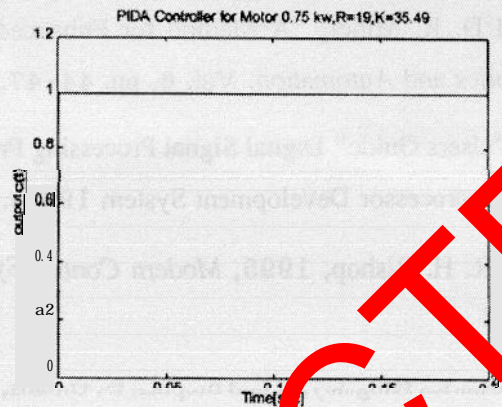
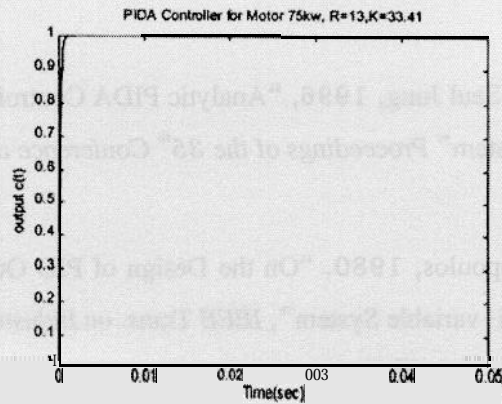
ตารางที่ 2 ผลการทดลองโดยกำหนดให้ตัวควบคุมมีค่า  $R$  ต่างกัน

controller	$G_{c1}$	$G_{c2}$	$G_{c3}$	Specification
R	7	13	19	-
KI	27.49	33.41	35.49	-
P.O.%	0.1223	0.0445	0.0105	5%
$T_p$ (sec)	10.6417	0.5698	0.362	1.0
$T_d$ (sec)	0.0015	0.001	0.0014	2.0
max $\frac{ C(s) }{ D(s) }$	0.0002	0.0002	0.0002	0 or < 0.05

จะเห็นว่าผลตอบสนองของตัวควบคุมทั้งหมดมีคุณสมบัติเป็นที่น่าพอใจและตัวควบคุม  
 $G_{c2}(s)$  จะให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดในแง่ของความไวเมื่อเพิ่มค่า  $R$  หรือโลโก้ของรากให้ห่างจากจุดกำเนิด  
ของ s-plane จะทำให้มีผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวและค่าชั่วขณะที่เร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลตอบสนองของตัวควบคุม PIDA



รูปที่ 7 ผลตอบสนองของตัวควบคุม PID (ต่อ)

## 8. บทสรุป

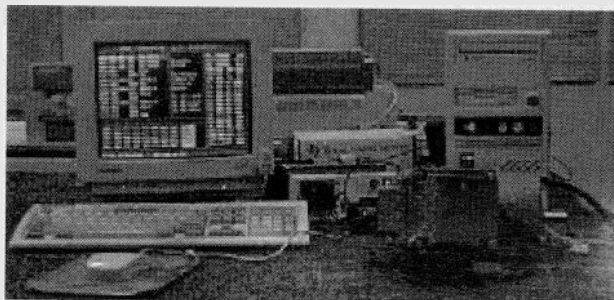
การสร้างตัวควบคุม PID สำหรับกระบวนการอันดับสามนั้นมีความยุ่งยากและมีข้อกำหนดที่ตายตัว สามารถทำให้ปัญหาเหล่านั้นหมดไปได้โดยใช้วิธีการสร้างตัวควบคุม PIDA ที่มีข้อดีในการให้ผลตอบสนองที่เร็ว สามารถวิเคราะห์และพิสูจน์ได้โดยการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สามารถควบคุมกระบวนการที่เป็นอันดับสามหรือสูงกว่า เพื่อเป็นการพิสูจน์ในการนำเสนอวิธีการสร้างตัวควบคุมแบบ PIDA กระทบกับมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกตัวกระตุ้นนั้น ผลที่ได้รับจากการควบคุมจะใกล้เคียงกับผลการเลียนแบบมาก จะเห็นได้ว่าการสร้างตัวควบคุม PIDA ทำให้สามารถวิเคราะห์ระบบได้ง่ายขึ้นเพียงแต่เพิ่มค่า gain ในช่วงที่มีการกำหนดไว้ โดยที่ gain นี้จะเป็น gain ของตัวควบคุมที่นำไปพิจารณาตำแหน่งรากในวงรอบปิด ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการสร้างและการออกแบบให้ระบบยังคงเสถียรภาพ ดังนั้นการสร้างตัวควบคุม PIDA จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งของผู้ที่ต้องการเริ่มสร้างตัวควบคุมและวิเคราะห์ระบบควบคุมที่มีกระบวนการเป็นอันดับสามหรืออันดับที่มากกว่านั้น สามารถนำไปพัฒนาควบคุมกระบวนการอื่นๆ ได้ง่ายตามต้องการ

## 9. เอกสารอ้างอิง

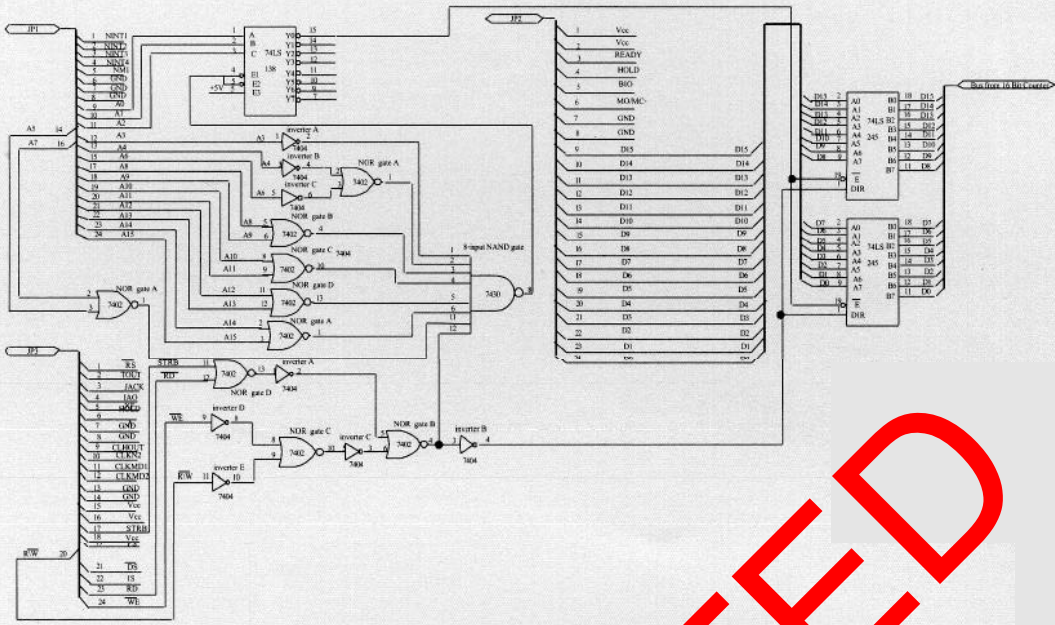
1. R. C. Dorf and Seul Jung, 1996, "Analytic PIDA Controller Design Technique for a Third Order System" *Proceedings of the 35<sup>th</sup> Conference on Decision Control*, Kobe, Japan.
2. P. N Paraskevopoulos, 1980, "On the Design of PID Output Feedback Controllers for Linear Multi-variable System", *IEEE Trans. on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, Vol. IECI-27, pp.16-18.
3. R. C. Dorf and D. R. Miller, "A Method for Enhanced PID Controller Design", *Journal of Robotics and Automation*, Vol. 6, pp. 44-47.
4. TMS 320C5X "Users Guide" Digital Signal Processing Products TMS 320C5X DSP Starter Kit (Microprocessor Development System 199
5. R. C. Dorf and R. H. Bishop, 1995, *Modern Control Systems*, 7<sup>th</sup> edition, Addison Wesley.
6. A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr and Stephen D. Umans, 1985, *Electric Machinery* Fourth Edition, McGraw-Hill.
7. Dote Y., *Servo Motor and Motion Control Using Digital Signal Processors*, Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 07 632, Copyright © 1990 by Texas Instruments Japan,
8. R.C. Dorf, S. Jung, J. Daffer, and L. Ng., 1995, "An s-plane Analytic Technique for Lead-lag Controller Design", *Proc. of American Control Conference*, Seattle, pp.2277-2288.

## 10. ภาคผนวก

แสดงกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 8 หน้าจอและกระบวนการทั้งหมดที่ใช้ทดลองด้วยโปรแกรม ดีบักเกอร์โดยใช้อัลกอริทึม PIDA



รูปที่ 9 วงจรอินเทอร์เฟซโมดูล (TMS 20C 01)

RETRACTED